CSNS EPICS PV 信息平台的设计与实现*

薛康佳[1,2]，张玉亮[1,2,3]，王 林[1,2,3]，吴 煊[1,2,3]，

李明涛[1,2,3]，何泳成[1,2,3]，朱 鹏[1,2,3]

(1.中国科学院高能物理研究所，北京 100049；

2. 散裂中子源科学中心，广东东莞 523808；

3. 中国科学院大学，北京 100049；)

摘要: EPICS 控制软件广泛应用于粒子加速器等大型科学实验装置。根据装置规模的不同，其 EPICS PV 的数量从几万到上百万不等，快速查询 EPICS PV 的相关信息，可提升加速器的运维效率。为此，设计和开发了 EPICS PV 信息平台，该平台支持在统一的用户界面中查询 PV 列表、实时状态、历史数据、操作日志以及 IOC 状态、IOC 网络信息，并将这些信息关联在一起，实现综合展示。平台的用户界面采用 Web 技术，服务端基于 Node.js 运行环境开发以及结合 EPICS 社区已有的软件模块，网络信息采集等周期执行的程序采用 Python 语言开发。目前，EPICS PV 信息平台已应用于 CSNS 加速器，并在实际运维中发挥了重要作用。

关键词: EPICS；PV；控制系统；CSNS

中图分类号: TL503.6　　　　**文献标志码**: A

实验物理和工业控制系统（EPICS）已逐渐成为加速器控制系统的一个主流的软件框架，EPICS 采用了分布式控制系统具有的标准模型，具有可移植性、可互操作性、可裁减性以及可重用性特点，被用于国内外多个大科学装置的控制系统[1]。

在中国散裂中子源（CSNS）[2]加速器控制系统中，目前拥有约 150 个 EPICS IOC(Input/Output Controller) 和十万个 PV，它们运行于分布在加速器不同区域的嵌入式 PLC、工控机、服务器或虚拟化环境中，如此数量庞大的 PV 给运行维护带来了挑战。为提高 CSNS 加速器控制系统的信息化水平，开发了 EPICS PV 信息平台。该平台的用户界面基于 Web 技术开发，使用浏览器访问，支持查询 EPICS PV 及 IOC 相关的各项信息，包括 PV 的责任人、所属系统、实时数值、历史曲线、操作记录，IOC 的运行状态、IOC 所属主机的 IP 地址、主机连接的交换机端口等，可以实现对 PV 的相关信息进行综合查询，例如：支持利用 PV 名查询所属 IOC 的信息；支持利用 IOC 名查询包含的 PV 列表和操作记录；支持按交换机的端口查询所连接主机的 IP 和运行的 IOC。

1 总体设计

EPICS PV 信息平台旨在统一的用户界面中综合查询与 PV 相关的各类信息，其总体架构如图 1 所示。该平台采用三层架构，即前端 EPICS IOC 应用、中间数据服务层和上层用户接口界面，三层之间通过多种通讯协议进行信息交互。

前端 EPICS IOC 应用包括标准的 EPICS IOC 和 PV Gateway，通过运行在 EPICS IOC 中的 CaPutLog 和

收稿日期: 2023-07-21；　修订日期: 2023-10-23

基金项目: 中国科学院青年创新促进会(Y9291420K2)

作者简介: 薛康佳(1991—)，男，硕士，籍贯广东兴宁人，实验师，从事加速器控制系统研究；E-mail: xuekj@ihep.ac.cn。

通讯作者:

RecCaster 模块，分别为中间数据服务层提供 PV 操作记录和 PV 信息。中间数据服务层采用微服务架构[3]，服务层中各功能模块独立运行，因此易于横向扩展和维护，维护某个功能模块或者新开发功能时不会影响其他模块的运行。最上层为平台的显示层，提供用户接口，通过 PV 名和 IP 地址将服务层中各功能模块的数据关联展示。为支持跨平台使用，用户接口采用 Web 技术，通过浏览器访问数据，Web 网页采用前后端分离的架构，利用 REST API 和 WebSocket API 访问服务层的数据[4]。

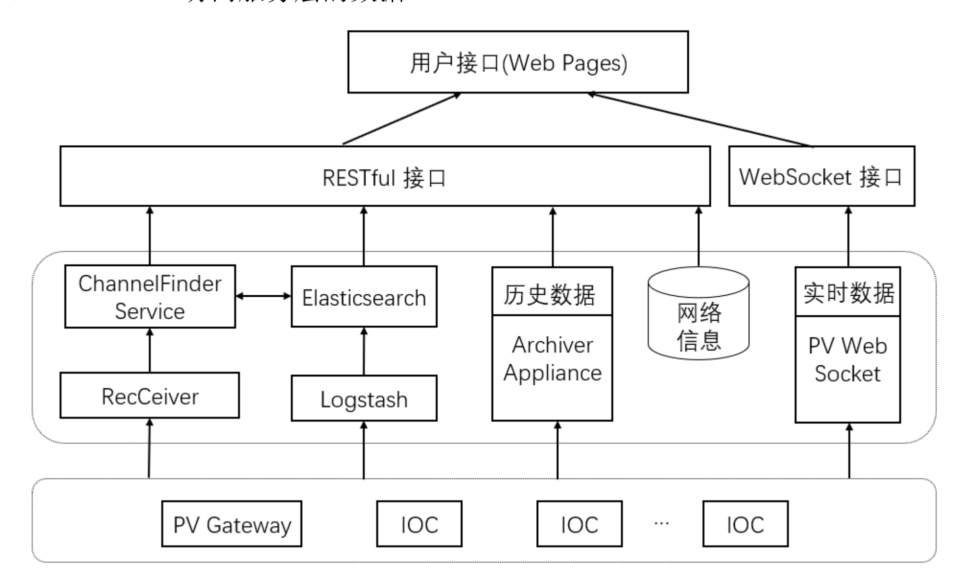


Fig. 1 Overall structure

图 1 总体架构

通过配置防火墙规则，平台同时支持在控制网络和园区网络访问。为避免直接暴露服务层中各软件的 IP 地址和端口号，该平台采用 Nginx 作为反向代理服务器[5]，Nginx 以访问路径区分将请求反向代理到需要连接的服务层软件，因此虽然服务层软件较多，但防火墙仅需要开放 Nginx 服务器的 IP 和 80 端口，提高了系统访问的安全性。

2 功能模块设计

EPICS PV 平台共包括 6 个主要功能模块，分别为 PV 列表模块、实时数据获取模块、历史数据访问模块、PV 操作日志模块以及 IOC 状态、IOC 网络信息模块，模块之间的数据通过 PV 名或 IP 地址进行相关联和唯一识别。为了方便用户访问信息，平台使用 Web 技术实现展示和检索，Web 前端基于 Vue.js 框架[6]，采用 PrimeVue 组件库开发用户界面；Web 后端则基于 Node.js 运行环境[7]开发。PV 列表模块使用 ChannelFinder 采集 PV 信息，并把数据存储在 Elasticsearch 中；PV 操作日志模块利用 CaPutLog 和 Logstash 收集 PV 的操作日志，把数据存储在 Elasticsearch 中；实时数据获取模块利用 PV Web Socket 获取 PV 及 IOC 的实时状态；历史数据访问模块从 Archiver Appliance 获取历史数据；IOC 的网络信息通过专门开发的应用从网络交换机获取，并存储在 MongoDB 数据库中。下面将详细介绍各模块的设计和技术实现。

2.1 PV 列表模块

PV 列表提供的信息包含 PV 名、所属 IOC 名、所属系统、责任人和 IP 地址等静态信息，这些信息是加速器控制系统运行维护过程中经常要使用到的数据。CSNS 没有使用自动采集的程序之前，由各开发人员自行维护所负责的 PV，当某个 PV 出现问题导致无法连接时，加速器运行人员需要和各开发人员逐一确认是否为责任人，然后通过责任人获知 PV 所属的 IOC 和所在位置才能做进一步处理。本平台部署后，无论 PV 是否可连

接，根据 PV 名即可定位到维护所需的责任人、IOC 名称和 IP 等信息。

EPICS PV 信息平台平台使用 ChannelFinder 实现 PV 列表的采集，PV 列表采集软件框图如图 2 所示。ChannelFinder 可实现 EPICS PV 的目录服务[8]，该软件由 ChannelFinder Service、客户端库和 RecSync 三部分组成，其中 RecSync 实现自动上传 PV 列表，ChannelFinder Service 实现 REST 风格的 Web 服务。

RecSync 包含 RecCaster 和 RecCeiver 两个应用，其中 RecCaster 应用运行在 IOC 中。IOC 启动后 RecCaster 模块自动上传本 IOC 包含的 PV 列表到 RecCeiver，然后 RecCeiver 调用 pyCFClient 上传 PV 列表到 ChannelFinder Service，最后将数据存储到 ElasticSearch。

ChannelFinder 提供了 API 用于读取和修改 PV 列表，但是无法完全满足本平台的需求，比如：不能直接获取 PV 所在的 IOC 名和 IP 地址等的列表。因此，开发了专门的 Web 接口，从 ChannelFinder Service 的 API 获取 PV 列表，从 ElasticSearch[9]的 API 获取 IOC 名、IP 地址以及所属系统和子系统的列表，最终把所有信息进行整合显示。从 ElasticSearch 获取列表采用聚合查询方式，语句为

{"size":0,"aggs":{"my_tags":{"nested":{"path":"properties"},"aggs":{"my_filter":{"filter":{"terms":{"properties.name":[code]}},"aggs":{"my_tags_values":{"terms":{"field":"properties.value","size":10000}}}}}}}}，其中 code 是变量，例如 code 为 iocid 时查询 IP 地址列表，为 hostName 时查询 IOC 的主机名列表。

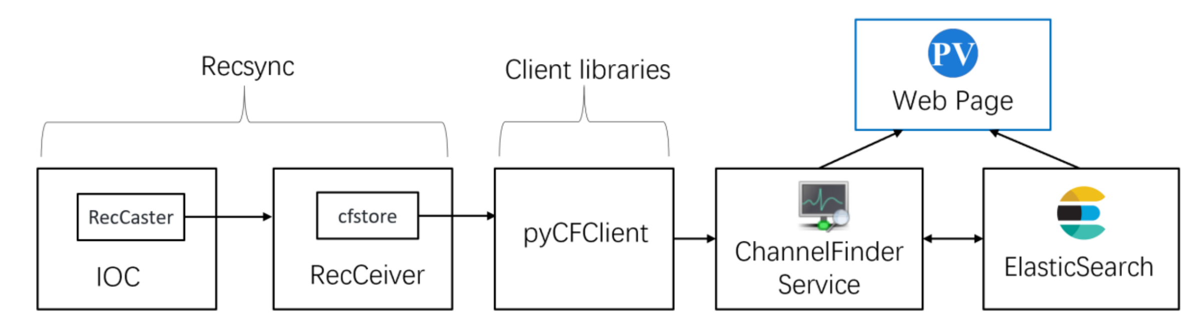


Fig. 2 Block diagram of PV information query

图 2 PV 信息采集框图

2.2 PV 实时状态与历史数据

PV 实时状态与历史数据是监测加速器运行状态所需的基础信息，实时状态即 PV 的实时数值和报警状态等动态信息，历史数据是加速器运行过程中的 PV 归档数据。EPICS PV 信息平台集成了 PV 实时状态和历史数据查询功能，在用户接口 Web 页面点击相应的按钮，支持弹窗显示所选 PV 的实时状态，或跳转页面查询历史数据。

RFC 6455 中定义了 WebSocket API 和协议[10]，提供了浏览器与服务器之间的双向的、全双工的通信通道，使得浏览器应用与服务器进行双向通讯时不必同时打开多个 HTTP 连接。利用 PV Web Socket（PVWS）模块[11]可以实现使用 EPICS Channel Access 协议访问 PV，同时提供 WebSocket 接口供 Web 页面进行访问，这样就可以实现通过 Web 页面监测 PV 的实时状态。

EPICS PV 信息平台的 PV 实时状态查询软件框图如图 3 所示，Web 网页与 PVWS 建立连接后，Web 网页向 PVWS 发送要订阅的 PV 列表，PVWS 将按配置的周期主动推送订阅 PV 的实时状态给 Web 页面，包括数值与报警状态等信息。具体流程是当用户点击某个 PV 的实时状态按钮时，使用 JavaScript 程序创建与 PVWS 连接的 WebSocket 对象实例，建立连接后利用 WebSocket 的 send 方法发送订阅 PV 的请求，例如发送 {"type":"subscribe","pvs":["PV_Name"]}，PVWS 将返回格式如

{"type":"update","pv":"PV_Name","readonly":true,"seconds":1663920701,"nanos":367890532,"units":"V","prec

ision":2,"min":-5,"max":5,"warn_low":-3,"warn_high":3,"alarm_low":-4,"alarm_high":4,"severity":"MAJOR","value":4.7}的 JSON 数据，程序接收到数据后根据 value、severity 等属性修改 Web 网页显示的内容。

由于 IOC 的网络连接数过多时存在性能问题，平台使用 EPICS PV Gateway[12]作为 PVWS 与 IOC 的中继，可减少客户端到 IOC 的连接数，且通过少量的 PV Gateway 即可访问加速器的一百多个 IOC 中 PV。

Archiver Appliance 是 EPICS 框架下目前最流行的历史数据存档管理软件，该软件满足百万量级 PV 数据的存储，采用分时存储技术提高系统存储速度并且具有组建应用程序集群的能力[13]。CSNS 加速器使用 EPICS Archiver Appliance 存储 PV 历史数据，该软件自身提供了 Web 访问页面，通过在 HTTP 的请求中添加 PV 名称参数查询相应 PV 的历史曲线，在 EPICS PV 信息平台中点击 PV 历史曲线按钮时，将跳转到 Archiver Appliance 的 Web 页面，从而实现历史数据查询功能。

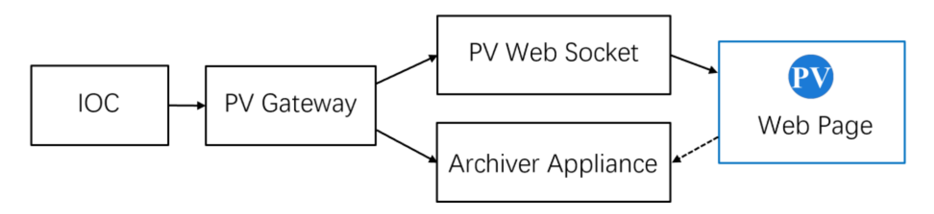


Fig. 3 Block diagram of real-time and historical data acquisition for PV

图 3 PV 的实时与历史数据获取框图

2.3 PV 操作日志

PV 操作日志通常用于分析和再现加速器运行过程中对 PV 的操作记录，EPICS PV 信息平台提供了查询 PV 操作日志的功能，并且支持结合 IOC 的 IP 地址、操作的客户端、操作时间等多种方式进行检索。

PV 操作的记录应用程序分为 IOC 端和服务端两部分。IOC 端采用 CaPutLog 模块，CaPutLog 是为 Channel Access 写操作提供日志记录的 EPICS 支持模块，该模块将以文本格式发送 CA 写操作的日志到一个远程日志服务器[14]；服务端通常采用 EPICS Base 包含的 IOC Log 服务端程序 iocLogServer，该程序接收 caPutLog 发送的消息并保存到文件中。由于 iocLogServer 使用文本文件保存日志，需要专门培训的人员才能读懂日志，查询和分析不方便，另外，iocLogServer 不提供 API 供外部应用访问。

Logstash 是一个开源的数据收集引擎，能够从多个数据来源采集数据和转换数据，然后将数据发送到指定的存储库中[15]。EPICS PV 信息平台采用 Logstash 作为 PV 操作日志的服务端，PV 操作日志收集软件框图如图 4 所示。通过编写配置文件创建 Logstash Pipeline，以收集各个 IOC 发送的 PV 操作日志，转换后存储到 Elasticsearch 中。Pipeline 文件由 input、filter 和 output 三部分构成，在 input 使用 tcp 插件接收事件（即操作日志），然后由 filter 解析文本，最后通过 output 将操作日志写入 Elasticsearch。利用 Elasticsearch 提供的 REST API，用户可以通过 Web 页面直接获取所有 PV 的操作日志，或者按 IOC 名、客户端、IP 地址及操作时间等进行检索。

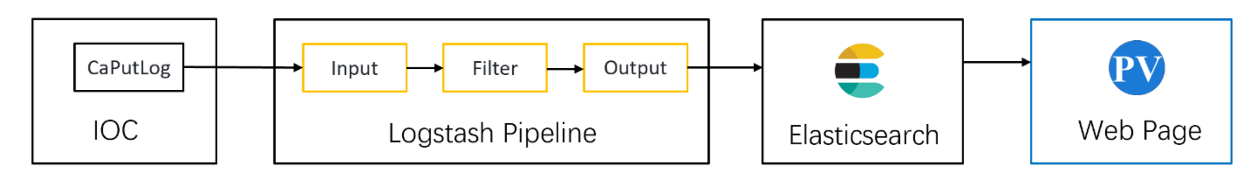


Fig. 4 Block diagram of PV put log

图 4 PV 操作日志框图

2.4 IOC 状态监测

大型加速器通常有上百或者数百个 IOC，由于不是所有 IOC 的 PV 都在中控室展示，当加速器停机检修恢

复时，运行人员无法快速确认是否所有 IOC 都恢复运行，因此有必要对 IOC 是否恢复运行进行检查和监测。EPICS PV 信息平台提供了 IOC 状态信息列表展示的功能，并以绿色或红色背景表示 IOC 是否正常运行。利用本功能，运维人员通过一个页面即可获知所有 IOC 的运行状态，以确认控制系统是否已恢复正常运行。

IOC 是否运行是通过监测 IOC 中指定的 PV 是否可以访问实现的，该功能模块的总体设计和数据流如图 5 所示。该模块使用 Python 开发了专用程序，首先如 2.1 所述从 Elasticsearch 获取 IP 地址列表，然后把列表中的 IP 地址作为参数逐个从 ChannelFinder 获取相应的 PV 列表，最后将每个 IOC 的 IOC 名、主机名和第一个 PV 名称等数据保存到 MongoDB 中。当打开 IOC 状态页面时，首先，经 Web 后端程序请求 MongoDB 中存储的 IOC 和相应 PV 列表；然后，Web 页面通过 PVWS 连接返回的 PV 列表，如果 PVWS 无法连接某个 PV，则说明该 PV 所在的 IOC 没有启动；最后，结合 Web 后端程序和 PVWS 返回的数据，在用户界面中显示 IOC 的信息和状态。

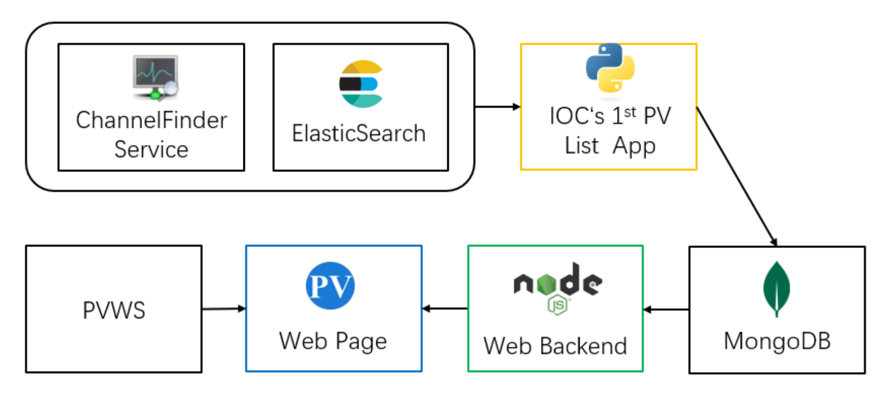


Fig. 5 Block diagram of IOC state monitoring

图 5 IOC 状态监测模块框图

2.5 IOC 网络信息

EPICS PV 信息平台整合了 ChannelFinder 中存储的 PV 的 IP 地址信息和交换机数据，因此除了支持查询 IOC 主机的 IP 地址，还支持查询 IOC 主机的 MAC 地址、连接的交换机名称及交换机端口。

为了动态获取交换机信息，使用 Python 开发了专用程序，利用 Telnet 协议连接各交换机，获取 CSNS 加速器核心交换机的 ARP 表，以及所有交换机的 MAC 地址表、端口状态信息，将处理后的数据保存到 MongoDB 数据库中。以锐捷交换机为例，具体实现方法如下：在 Python 程序中，预先存储了核心交换机和各接入交换机的名称、IP 地址和管理账号。程序使用 netmiko 库利用 Telnet 协议连接核心交换机，分别发送 show arp、show mac-address-table 和 show interfaces description 命令获取核心交换机的 ARP 表、MAC 地址表和交换机接口信息；使用 netmiko 集成的 TextFSM 模块将返回的文本数据格式化为程序可以直接处理的 JSON 数据，并将数据处理后保存到 MongoDB 中。与核心交换机类似，依次连接每台接入交换机，获取 MAC 地址表和交换机接口信息并保存到 MongoDB 数据库中。当打开网络信息查询页面时，Web 后端程序结合 MongoDB 中各交换机的数据，返回关联好的 IP、MAC 地址以及连接的各级交换机的名称和接口。软件框图如图 6 所示。

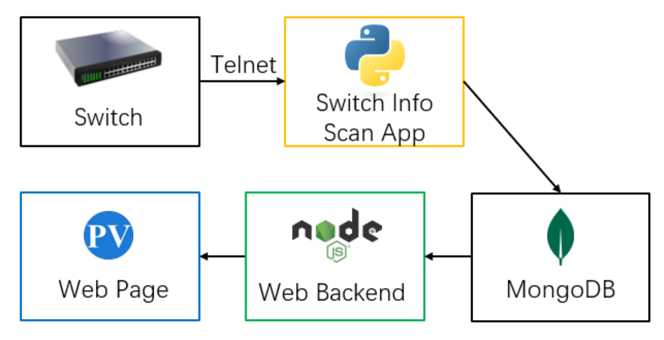


Fig. 6 Block diagram of dynamically obtaining switch information

图 6 动态获取交换机信息软件框图

3 应用情况

EPICS PV 信息平台已经在 CSNS 加速器部署使用，其操作界面如图 7、8 所示。在部署该平台后，已经收集了 CSNS 加速器控制系统中的 103 个 IOC 的信息，包括超过 6 万个 PV，这有效提高了 CSNS 加速器控制系统的信息化水平；此外，还有部分设备采用 LabVIEW、C#等程序发布 PV，非标准 IOC 无法编译 RecCaster 模块，因此暂未纳入平台管理。在加速器运行过程已经出现数次个别 PV 无法连接的情况，利用平台快速查询到了该 PV 所属的 IOC、责任人、IOC 的 IP 地址以及连接的交换机端口，这大大提高了定位问题的效率；平台查看 IOC 状态的功能也已应用于加速器每周的例行停机检修中。

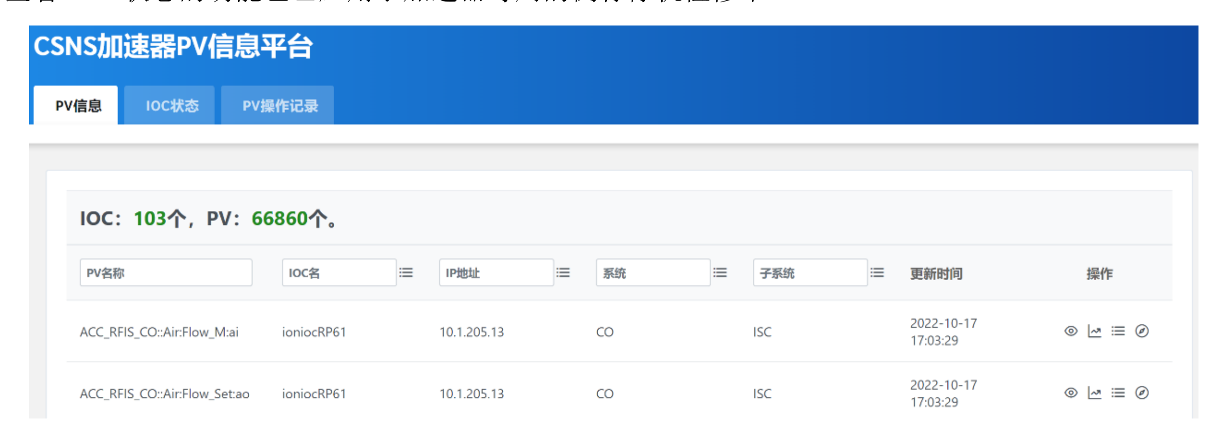


Fig. 7 Home Page of CSNS cccelerator PV information platform

图 7 CSNS 加速器 PV 信息平台主页面



Fig. 8 IOC status, network information page

图 8 IOC 状态、网络信息页面

4 结束语

在大型加速器控制系统中，EPICS IOC 数量可达数百个，PV 数量可达数十万个，涉及到的系统和工作人

员众多。因此，信息化建设对于控制系统的管理维护发挥着重要作用。本文设计并实现了一个 EPICS PV 信息平台，该平台提供了统一的用户界面，用于查询 PV 列表、实时状态、历史数据、操作日志以及 IOC 状态、IOC 网络信息。同时，这些信息也可以相互调用和检索。平台采用了主流的技术方案，易于移植和扩展，可应用于其他采用 EPICS 架构的控制系统。

参考文献:

[1] EPICS [EB]. [2023-10-23]. https://epics.anl.gov/.

[2] CHEN Hesheng. China Spallation Neutron Source[J]. Modern Physics, 2016,28(01):3-10 (in Chinese).
(陈和生.中国散裂中子源[J].现代物理知识,2016,28(01):3-10. doi:10.13405/j.cnki.xdwz.2016.01.001)

[3] THONES J. Microservices[J]. IEEE software, 2015, 32(1): 116-116. doi: 10.1109/MS.2015.11

[4] FIELDING R T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [D]. University of California, 2000.

[5] REESE W. Nginx: the high-performance web server and reverse proxy[J]. Linux Journal, 2008, 2008(173): 2. doi: 10.5555/1412202.1412204

[6] Vue.js guide[EB]. [2023-07-16]. https://vuejs.org/guide/introduction.html.

[7] TILKOV S, VINOSKI S. Node. js: Using JavaScript to build high-performance network programs[J]. IEEE Internet Computing, 2010, 14(6): 80-83. doi: 10.1109/MIC.2010.145

[8] ChannelFinder [EB]. [2023-08-01]. http://channelfinder.github.io/.

[9] Elasticsearch [EB]. [2023-08-29]. https://www.elastic.co/cn/elasticsearch/.

[10] FETTE I, MELNIKOV A. The websocket protocol[R]. 2011.

[11] PV Web Socket [EB]. [2023-09-23]. https://github.com/ornl-epics/pvws.

[12] EVANS K, SMITH M. Experience with the EPICS PV Gateway at the APS[C]. Proceedings of the 2005 Particle Accelerator Conference. IEEE, 2005: 3621-3623.

[13] SHANKAR M, LI L F, Davidsaver M A, et al. The EPICS archiver appliance[C]. Proceedings of ICALEPCS. 2015, 15.

[14] EPICS CaPutLog Module [EB]. [2022-04-29]. https://github.com/epics-modules/caPutLog.

[15] Logstash [EB]. [2023-10-16]. https://www.elastic.co/cn/logstash/.

Design and implementation of CSNS EPICS PV information platform

XUE Kang-jia[1,2], ZHANG Yu-liang[1,2,3], WANG Lin[1,2,3],Wu Xuan[1,2,3],

LI Ming-tao[1,2,3], HE Yong-cheng[1,2,3], ZHU Peng[1,2,3]

(1.*Institute of High Energy Physics*, *Chinese Academy of Sciences* (*CAS*), *Beijing* 100049, *China*;

2. *Spallation Neutron Source Science Center*, *Dongguan Guangdong* 523803, *China*;

3. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*;)

Abstract:

EPICS, a software tool extensively used in large-scale scientific experiments such as particle accelerators. Depending on the scale of the facility, the number of EPICS PV can range from tens of thousands to millions. The ability to swiftly retrieve information related to EPICS PV can notably enhance the operational efficiency and maintenance of particle accelerators. To address this requirement, we designed and developed the EPICS PV information platform. This platform provides a unified user interface that supports the querying of PV lists, real-time statuses, historical data, put logs, IOC statuses, and IOC network information. It integrates these data points to offer a comprehensive view. The user interface of the platform leverages Web technology, with the server-side developed in the Node.js environment. This is complemented by software modules from the EPICS community. In addition, programs for network information collection and other cyclical executions are developed using the Python language. At present, the EPICS PV information platform has been successfully implemented in the CSNS accelerator, where it has significantly contributed to its effective operation and maintenance.

Keywords : EPICS; PV; control system; CSNS

Received date: 2023-07-21**;** **Revised date:** 2023-10-23

Foundation item: Youth Innovation Promotion Association，CAS (Y9291420K2)

1) E-mail: xuekj@ihep.a.c.cn